

Beschreibung

Turbinentriebwerk und Verfahren zum Kühlen eines
Turbinentriebwerks

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Turbinentriebwerk mit einer Turbinenwelle, die eine Anzahl von nebeneinander angeordneter Scheiben aufweist, an denen jeweils eine Anzahl von Laufschaufeln sternförmig befestigbar sind, wobei diese mit zumindest einem Kühlmittel, welches durch

10 Kühlmittelkanäle innerhalb der Laufschaufeln strömt, kühlbar sind und auf ein Verfahren zum Kühlen dieser.

Turbinentriebwerk werden in vielen Bereichen eingesetzt, hauptsächlich als Antriebe in der Flugzeugindustrie und zur

15 Energiegewinnung. Bei der Energiegewinnung unterscheidet man zwischen Gasturbinen und Dampfturbinen, die beide, oft gleichzeitig in so genannten GuD-Anlagen zum Antrieb von Generatoren genutzt werden. In der Gasturbine, die im

20 Folgenden betrachtet sei, wird ein Brennmittel-Luftgemisch in einem Brennraum gezündet, von wo aus sich das dabei entstehende Arbeitsmedium in Richtung der Laufschaufeln über diese arbeitsleistend hinweg entspannt. Die Energie des Arbeitsmedium wird mittels der Laufschaufeln in

25 Bewegungsenergie umgesetzt, die mit der Rotation der Turbinenwelle an Generatoren weitergegeben wird.

Das Brennmittel-Luftgemisch verbrennt üblicherweise bei einer Temperatur von 1200 °C bis 1300 °C emissionsarm und erzielt

30 dabei einen hohen Wirkungsgrad. Generell kann der Wirkungsgrad weiter gesteigert werden durch eine weitere Erhöhung der Verbrennungstemperatur.

Bei diesen hohen Verbrennungstemperaturen des Arbeitsmediums werden an die Komponenten des Turbinentriebwerks, die mit dem

35 Arbeitsmedium in Berührung kommen, höchste Anforderungen bezüglich thermischer Beständigkeit, mechanischer Festigkeit

und Lebensdauer gestellt. Dabei soll unter Berücksichtigung des Betriebsrisikos und der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Komponenten ein größtmöglicher Wirkungsgrad erzielt werden.

- 5 Thermische Beständigkeit, eine hohe Lebensdauer und
Zuverlässigkeit wird auch für die Laufschaufeln eines
Turbinentriebwerks gefordert. Damit die Laufschaufeln der in
Strömungsrichtung des Arbeitsmediums gesehenen ersten
Laufschaufelreihe den höchsten thermischen Belastungen
10 standhalten, werden sie bekanntermaßen gekühlt. Dazu sind sie
im allgemeinen mit Hohlräumen durchzogen, die ein verzweigtes
Kanalsystem bilden, in dem ein Kühlmittel strömt. Als
Kühlmittel wird entweder verdichtete Luft oder Dampf
eingesetzt, oder auch beides gleichzeitig. Dampf weist dabei
15 eine bessere Kühleigenschaft als verdichtete Luft auf.
Allerdings stellt Dampf einen höheren Anspruch an die
Dichtigkeit des kompletten Kühlsystems, was einen höheren
Fertigungsaufwand für die Kühlmittelführung bedeutet.
- 20 Bekannt ist, dass Laufschaufeln luft- und/oder dampfgekühlt
werden. Die Luftkühlung kann als offene sowie geschlossene
Kühlung erfolgen, die Dampfkühlung ist jedoch nur als
geschlossenes Kühlsystem sinnvoll. Bei der Kühlung von
Laufschaufeln eines Turbinentriebwerks ist der erhebliche
25 Druckunterschied zwischen Arbeitsmedium und Kühlmittel nur
durch technisch hohen Aufwand beizubehalten. Zur Sperrung der
Bereiche gegeneinander ist ein aufwändiges Dichtsystem über
den Führungsweg des Kühlmittels erforderlich, um die
Leckageverluste gering zu halten und somit eine effiziente
30 Kühlung zu gewährleisten. Nachteilig sind die dafür
erforderlichen enormen wirtschaftlichen und technischen
Aufwendungen, die obendrein zur Reduzierung der
Betriebssicherheit und der Zuverlässigkeit aufgrund der
komplizierten Technik führen.
- 35 Die Zuführung von Kühlmittel zu einzelnen Laufschaufeln der
unterschiedlichen Laufschaufelreihen ist auf Grund der

Anordnungen der einzelnen beteiligten Elemente sehr schwierig und erfordert einen hohen Aufwand, um die erforderliche Dichtigkeit des Systems und ein geringes Betriebsrisiko zu garantieren.

5

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, den Wirkungsgrad des Turbinentriebwerks mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu erhöhen, gleichzeitig das Betriebsrisiko zu mindern bzw. die Lebensdauer der Elemente und die

10 Zuverlässigkeit des Turbinentriebwerkes zu erhöhen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass zwischen zwei unmittelbar benachbarten Scheiben in

15

Radialrichtung mehrere Hohlräume eingeschlossen sind, die jeweils die Turbinenwelle in Umfangsrichtung umgreifen und in denen Kühlmittel in unterschiedlichen Drücken vorherrschen, wobei das oder die Kühlmittel in die Hohlräume jeweils ein und ausströmbar ist.

20

Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass das Betriebsrisiko durch eine Vereinfachung der Kühlmittelzufuhr der Laufschaufeln verkleinert werden kann. Die daraus resultierende vorteilhafte Reduzierung der Anzahl der Dichtungen bei gleichzeitiger Verkürzung der verbleibenden

25

Dichtlänge erhöht die Betriebssicherheit, vermindert die Ausfallwahrscheinlichkeit und reduziert die Leckageverluste des Kühlmittels. Zusätzlich können einfachere Dichtsysteme verwendet werden, die ebenso das Betriebsrisiko senken. In

30

den einzelnen Hohlräumen zwischen zwei benachbarten Scheiben strömen dabei mehrere Kühlmittel unterschiedlicher Qualität, dies sind "frische" Kühlmittel wie Frischluft und/oder Frischdampf, die zu den Laufschaufeln geführt werden und/oder "verbrauchte" Kühlmittel wie Brauchluft und/oder Brauchdampf, die von den Laufschaufeln weggeführt werden. Das einfache und

35

zuverlässige Bereitstellen der Kühlmittel erlaubt das effiziente Einsetzen dieser und ermöglicht infolgedessen eine gewinnbringende Wirkungsgradsteigerung, da die dem

Arbeitsmedium ausgesetzten Bauelemente höheren Temperaturen standhalten.

Äußerst vorteilhaft ist die Ausgestaltung der Erfindung
5 derart, dass die radial benachbarten Hohlräume durch
fliehkraftbasierte Dichtungen gegeneinander abgedichtet sind.
Diese äußerst zuverlässige Art und Weise des Abdichtens
radial benachbarter Bereiche reduziert die Leckageverluste im
Kühlmittel.

10 Eine absolut dichte sichere Verbindung ist vorteilhafterweise
gegeben, wenn die integrierten Kühlmittelkanäle einer jeden
auf ein und derselben Scheibe angeordneten Laufschaufel, mit
ein und demselben Hohlraum, der mit einer benachbarten
15 Scheibe eingeschlossen wird, über eine radiale Bohrung oder
Durchlass kommuniziert.

Vorteilhafterweise kommuniziert mindestens einer der
Hohlräume mit einer Kühlmittelversorgung oder
20 Kühlmittelentsorgung.

Nach einem Verfahren zum Kühlen eines Turbinentriebwerkes
gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 wird vorgeschlagen, dass
der Druck des Kühlmittels, welches durch einen Hohlraum
25 strömt, größer ist als der Druck des Kühlmittels, welches
durch den radial nächstäußeren Hohlraum strömt. Im
ungünstigen Fall eines Defekts einer im wesentlichen sehr
robusten Fliehkraftdichtung treten Leckageverluste folglich
nur von einer Druckstufe zur nächstgeringeren auf, also von
30 einem Hohlraum zum radial nächstäußeren.

In einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Verfahrens zum
Kühlen eines Turbinentriebwerkes wird vorgeschlagen, dass im
radial innersten Hohlraum Frischdampf, im nächstäußeren
35 Hohlraum Brauchdampf und dem nächstäußeren Hohlraum
Frischlufte strömt. Gasturbinen werden häufig mit mehrstufigen
Dampfturbinen betrieben (als GuD-Anlagen), die als

Arbeitsmedium Dampf mit unterschiedlichen Drücken benötigen. Dem Arbeitsmedium Dampf einer Hochdruck-Dampfturbine wird ein Anteil entnommen und zur Kühlung von Bauteilen einer Gasturbine verwendet. Der entnommene Anteil des Dampfes wird

5 in dieser Anmeldung als Frischdampf bezeichnet und weist einen Druck in der Größenordnung von ca. 40 bar auf. Der Brauchdampf, mit ca. 30 bar, der nach dem Kühlen der dem Heißgas ausgesetzten Bauteile zurückbleibt, kann als Arbeitsmedium einer Mitteldruck-Dampfturbine zugeführt

10 werden. Das Kühlmittel Dampf wird somit gewinnbringend mehrfach eingesetzt. Die im Fehlerfall vorhandenen Leckageanteile des Frischdampfes treten aufgrund des Druckgefälles nur in Richtung des Brauchdampfes auf und vermischen sich mit diesem. Der Brauchdampf wird der

15 Mitteldruck-Dampfturbine wieder zugeführt und so werden die durch Leckage hervorgerufene Verluste reduziert. Falls ein Teil des Brauchdampfes durch Leckage in Richtung des geringen Druckes strömt und sich mit der Frischluft vermischt, so wird dieser Teil weiterhin nutzbringend zur Kühlung eingesetzt.

20 Kühlmittelanteile gehen nur dann verloren, wenn Undichtigkeiten zwischen dem Bereich, in der die Frischluft strömt und dem Strömungskanal des Arbeitsmediums der Gasturbine auftreten.

25 Die Erfindung stellt somit ein radiales Mehrschichtsystem von gegeneinander abgeschirmten Bereichen dar, in denen unterschiedliche Drücke vorherrschen. Dabei herrscht radial von innen nach außen gesehen ein Druckgefälle. Der größte Druck herrscht, hervorgerufen von Frischdampf, radial gesehen

30 im innersten Hohlraum zweier benachbarter Scheiben, radial weiter außen im nächsten Hohlraum der nächstniedrigere Druck, hervorgerufen von Brauchdampf, radial weiter außen im äußersten Hohlraum der nächstniedrige Druck, hervorgerufen von Frischluft, und im Strömungskanal, der zwischen

35 Turbinenwelle und Stator angeordnet ist, liegt der niedrigste Druck vor, hervorgerufen vom Arbeitsmedium. Vorteilhaft sind die zwischen den Scheiben in Umfangsrichtung verlaufenden

kurzen Dichtlängen bei gleichzeitig geringer Anzahl an Dichtelementen und die gewinnbringende schichtweise Anordnung der Kühlmittel unterschiedlichen Druckes, die eine teilweise nutzbringende Weiterverwendung des Leckagestroms ermöglichen.

5

Anhand der Zeichnung wird die Erfindung beispielhaft näher erläutert. Es zeigt teilweise schematisch und nicht maßstäblich die einzige Zeichnungsfigur eine Gasturbine mit einer Turbinenwelle

10

Die einzige Zeichnungsfigur zeigt einen Schnitt durch eine Gasturbine 17 entlang der Drehachse 2 der Turbinenwelle 1. An der Turbinenwelle 1 nebeneinander angeordnet befinden sich die Scheiben 3, 4 und 5. Jeweils an diesen Scheiben 3, 4 und 5 befestigt sind in Laufschaufelringen 16 gruppierte Laufschaufeln 14 der ersten, zweiten und dritten Turbinenstufe. Jede Turbinenstufe wird gebildet durch eine am Stator 18 angebrachten Leitschaufelring in Verbindung mit einem, in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums A gesehenen dieser nachgeschalteten Laufschaufelring 16. Auch die Leitschaufeln 15 werden über eine externe, nicht gezeigte Versorgung mit Frischluft versorgt, was durch die Strömungspfeile 10 dargestellt wird.

20

25

Die teilweise dargestellte Brennkammer 19 der Gasturbine 17 mündet in den Strömungskanal 11 des Arbeitsmediums A. Während des Betriebes der Gasturbine 17 strömt das Arbeitsmedium A, von der Brennkammer 19 kommend, durch den Strömungskanal 11. Dabei strömt es vorbei an Leitschaufeln 15 und wirkt arbeitsleistend auf die Laufschaufeln 14.

30

35

Die an der Turbinenwelle 1 angeordneten benachbarten Scheiben 3, 4 und 5 schließen zwischen sich Hohlräume 8, 9, 20 ein, die die Turbinenwelle ringförmig umgreifen. Der innere Hohlraum 8 liegt gegenüber dem mittleren Hohlraum 9 radial innen. In Radialrichtung nach außen umgreift der äußere Hohlraum 20 den mittleren Hohlraum 9. Der innere Hohlraum 8

ist gegenüber dem mittleren Hohlraum 9 mittels einer fliehkraftbasierten Dichtung 6 abgedichtet, der ebenfalls über eine fliehkraftbasierte Dichtung gegenüber dem Hohlraum 20 abgedichtet ist. Nicht dargestellt ist, dass die aus einem Dichtdraht bestehende fliehkraftbasierte Dichtung, an beiden benachbarten Scheiben in einer Fase angelegt ist, um diesen sicher zu positionieren. Der innere Hohlraum 8 weist eine Bohrung oder einen Durchlass 7 auf, über den der Hohlraum 8 mit dem Versorgungsanschluss des integrierten Kühlmittelkanals der Laufschaufel 14 kommuniziert. Der innere Hohlraum 8 dient somit zur Kühlmittelversorgung der Laufschaufeln 14. Ebenso weist der Hohlraum 9 eine Bohrung 7 auf, die mit den Entsorgungsanschluss des integrierten Kühlmittelkanals der Laufschaufel 14 zur Kühlmittelentsorgung kommuniziert.

Der Kühlmittelfluss wird anhand der zweiten Turbinenstufe 22 erklärt. Frischdampf fließt, dargestellt durch die Strömungspfeile 12 des Frischdampfes, von einer Kühlmittelquelle axial entlang der Turbinenwelle 1 bis zum inneren Hohlraum 8, der zwischen den Scheiben 3 und 4 gebildet wird. Der Frischdampf wird durch die radial verlaufende Bohrung 7, welche durch die Scheibe 4 verläuft, zu einem Versorgungsanschluss einer Laufschaufel 14 der zweiten Turbinenstufe 22 geführt. In der Laufschaufel 14 wirkt sich der Frischdampf kühlend aus und verlässt diese über den Entsorgungsanschluss. Die am Entsorgungsanschluss angeordnete weitere radiale Bohrung 7 führt den Brauchdampf, dargestellt durch die Strömungspfeile 13, zu dem mittleren Hohlraum 9, der von den Scheiben 4 und 5 eingeschlossen wird. Von dort aus gelangt der Brauchdampf durch einen axialen Kanal zu einem weiteren Hohlraum 23, von wo aus er abtransportiert wird.

Von einer nicht dargestellten Frischluftquelle wird Frischluft 10 durch die Leitschaufeln 15 hindurch zu einem Hohlraum 20 geführt, der radial weiter außen als der Hohlraum

9 angeordnet ist. Von diesem Hohlraum 20 aus wird die Frischluft den Laufschaufeln 14 zugeführt. Die an der Hinterkante der Laufschaufeln 14 ausgeblasene Frischluft vermischt sich sodann mit dem Arbeitsmedium A der Gasturbine 17.

Durch die erfinderische Anordnung, koaxiale, radial beabstandete Hohlräume 8, 9, 20 zwischen den Scheiben 3, 4 und 5 auszubilden, und diese durch fliehkraftbasierte Dichtungen 6 einfach und zuverlässig abzudichten, ist eine gewinnbringende Anordnung erzielt worden. In Verbindung mit dem Verfahren, die Hohlräume 8, 9, und 20 mit Kühlmittel in unterschiedlicher Qualität und mit unterschiedlichen Drücken zu beaufschlagen, wobei diese Drücke von innen nach außen betrachtet abnehmen, wird eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik erreicht.

Patentansprüche

1. Turbinentriebwerk mit einer Turbinenwelle, die eine Anzahl
5 von nebeneinander angeordneter Scheiben aufweist, an denen
jeweils eine Anzahl von Laufschaufeln sternförmig
befestigbar sind, wobei diese mit zumindest einem
Kühlmittel, welches durch Kühlmittelkanäle innerhalb der
Laufschaufeln strömt, kühlbar sind
10 dadurch gekennzeichnet,
dass zwischen zwei unmittelbar benachbarten Scheiben in
Radialrichtung mehrere Hohlräume eingeschlossen sind, die
jeweils die Turbinenwelle in Umfangsrichtung umgreifen und
in denen Kühlmittel in unterschiedlichen Drücken
15 vorherrschen, wobei das oder die Kühlmittel in die
Hohlräume jeweils ein und ausströmbar ist.
2. Turbinenwelle nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass die radial benachbarten Hohlräume gegeneinander
abgedichtet sind.
3. Turbinenwelle nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
25 dass die integrierten Kühlmittelkanäle einer jeden auf ein
und derselben Scheibe angeordneten Laufschaufel, mit ein
und demselben Hohlraum, der mit einer benachbarten Scheibe
eingeschlossen wird, über eine radiale Bohrung oder
Durchlass kommuniziert.
30
4. Turbinenwelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass mindestens einer der Hohlräume mit einer
35 Kühlmittelversorgung oder Kühlmittelentsorgung
kommuniziert.

5. Verfahren zum Kühlen eines Turbinentriebwerkes gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Druck des Kühlmittels, welches durch einen Hohlraum strömt, größer ist als der Druck des Kühlmittels, welches durch den radial nächstäußeren Hohlraum strömt.
- 5
6. Verfahren zum Kühlen einer Laufschaufel eines Turbinentriebwerks nach Anspruch 5
- 10
- dadurch gekennzeichnet, dass im radial innersten Hohlraum Frischdampf, im radial nächstäußeren Hohlraum Brauchdampf und im radial nächstäußeren Hohlraum Frischluft strömt.

Zusammenfassung

Turbinentriebwerk

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Turbinentriebwerk mit einer Turbinenwelle, die eine Anzahl von nebeneinander angeordneter Scheiben aufweist, an denen jeweils eine Anzahl von Laufschaufeln sternförmig befestigbar sind, wobei diese mit zumindest einem Kühlmittel, welches durch
- 10 Kühlmittelkanäle innerhalb der Laufschaufeln strömt, kühlbar sind. Die Aufgabe der Erfindung ist es, den Wirkungsgrad mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu erhöhen und gleichzeitig das Betriebsrisiko zu mindern bzw. die Lebensdauer der Elemente und die Zuverlässigkeit des
- 15 Turbinentriebwerkes zu erhöhen. Dazu werden die Laufschaufeln über ein einfaches und zuverlässiges Kühlmittelzuführungssystem mit Kühlmittel versorgt, bzw. entsorgt, welches radial mehrschichtig zwischen zwei benachbarten Scheiben aufgebaut ist.

20

Fig. 1